

대형사고 예방을 위한 인간공학의 응용



임 현 교
충북대 안전공학과 교수

1. 머리말

최근 우리가 살고 있는 사회는 나날이 복잡해지고 대형화되어서 사고의 규모도 말로 표현할 수 없을 만큼 복잡해지고 대형화되어 가고 있다. 그 결과, 현대 사회에서의 사고는 크게 두 가지로 유형을 달리 하게 되었다. 하나는 사고의 영향이 개인적인 수준에서 머무르는 사고이고, 또 다른 하나는 사고의 영향이 사고가 발생하는 개인은 물론, 그 개인이 속하는 기업, 사회 등 사고의 영향이 대규모에 이르러 피해 범위를 가늠하기 어려운 파급효과를 초래하는 사고이다. 그래서 전문가들은 앞 유형의 사고를 「개인사고」라고 하는 반면, 뒤 유형의 사고를 「조직사고」라고 구분하

고 있다.

그런데 문제는 사고의 유형이 이렇게 변해 가고 있는데도, 사고의 원인을 밝히는 데에는 여전히 단순한 '본인 과실' 이니 '부주의' 나 하는 전 근대적인 원인을 추구하고 있는 것이다. 마찬가지로, 또 한 가지는 근년 들어 휴먼에러(human error)라는 용어가 빈번히 사용되고 있는데 대하여, 정작 전문가들이 사용하고 있는 의미와 다르게 사용되고 있는 것이 아닌가 하는 의구심을 떨쳐 버릴 수가 없다.

그러므로 이 글을 통하여 필자는 우선 인간 과오와 불안전 행동의 차이를 검토함으로써, 대형사고를 예방하기 위한 초점이 어디에 있으며 어떠한 방법이 현실적인지를 제시하고자 한다.

2. 인간 과오란 무엇인가?

한 번 실수는 병가(兵家)의 늘상 있는 일이라는 말이 있다. 그러나 그것이 어디 꼭 병법이나 전략에만 해당하는 일 뿐이라. 실수를 하지 않는 것은 오직 신(神)뿐이라고 하는 말도 있을 만큼 실수는 인간에게 당연히 부과된 미덕(?)처럼 인식되고 있는 현실이다. 그래서인지 우리말에는 인간의 실수를 가리키는 말이 여러 가지가 있다. 실수, 과오, 잘못, 오류 등이 그것이다. 그러나 이 말에는 전문적인 의미상의 차이가 많아 사용하는데 주의를 요한다. 우선 이 단어들의 뜻을 살펴보기로 하자. 이 단어들의 뜻을 검토해 보면 우리가 사람들의 실수를 어떻게 인식하고 있는지 알 수가 있다.

먼저, 한자에 유래한 '실수(失手)'는 일본식 한자어의 영향을 받은 단어인 듯 하다. 상수(上手)니 하수(下手)니 하는 용어에서 보는 바와 같이 제대로 솜씨를 발휘하는 것을 일본식 한자 표현에서는 수(手)라고 하는데, 실수란 이 솜씨를 제대로 발휘하지 못한 상황을 가리키는 말이다. 그러나 우리가 늘상 사용하는 단어로서는 우선 순위에서 뒤로 밀리는 것 같다.

'잘못'은 결과의 옳고 그름을 구별하는 용어이지, 의도하지 않는 결과를 초래했다는 과오의 성격을 올바로 반영하지 못하므로 역시 기준 미달이다.

'오류(誤謬)'는 어려운 한자에 근거한 말로서 논리적인 잘못을 가리키는 말인데, 만약 인간의 판단 과정에 논리적인 잘못이 존재한다면, 몇 차례고 다시 반복을 하더라도 동일한 잘못된 결과를 초래할 수도 있다는 것을 의미한다. 그러므로 컴퓨터 프로

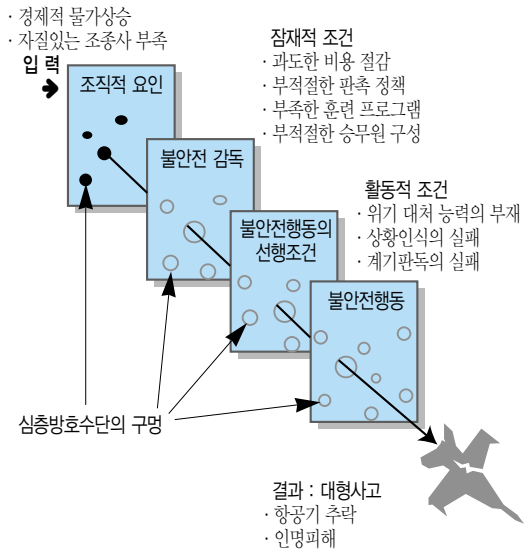
그램 상의 논리적 오류라는 것은 있을 수 있지만, 인간에게 있어 논리적 오류라는 말은 그 성격상 적합하지 않다고 판단된다.

그래서 결과적으로 인간의 다종다양한 바람직하지 않은 결과를 초래하는 의사결정이나 행동을 가리키는 말로써 필자는 평소 '과오(過誤)'라는 말을 즐겨 쓰기를 권장해 왔다.

서양에서는 '휴먼 에러(human error)'라는 말을 쓰고 있는데, 이것은 '시스템의 효능, 안전성 혹은 성능을 저하시키거나 저하시킬 수도 있는 적절치 못하거나 바람직하지 못한 인간의 의사결정이나 행동(Sanders)', '요구된 작업성능으로부터 벗어남(Meister)', '인정된 한계행위로부터의 벗어남(Swain)', 혹은 '원하지 않은 결과를 초래하는 인간 행동(IEC TC 56)'을 말한다.

3. 조직사고 - 대형사고

제임스 리즌(James Reason)이라는 학자는 최근의 조직사고를 설명하는 데 있어서 새로운 학설을 주장하였는데, 그의 주장은 이른바 '스위스 치즈 모형'이라고 불리고 있다. 항공기 추락사고를 예로 설명한다면, [그림 1]에 보는 바와 같이 항공기 사고를 예방하기 위한 방호체계는 다중으로 구성되어 있어 물샐 틈 없는 것처럼 보이지만 실제로는 각각의 방호체계에는 쉽게 인식할 수 없는 구멍이 어딘가에는 존재한다는 것이다. 이것을 '잠재적 위험요인'이라고 하는데, 이 위험요인들이 공교롭게 동시에 발현되는 일은 좀처럼 없기 때문에 사람들은 이 시스템이 안전하다고 생각하기 쉽다는 것이다. 그러나 경



〈그림 1〉 항공기 추락의 조직적 원인

우에 따라서는 - 극히 드문 일이기는 하지만 - 공교롭게도 이 위험요인들이 동시에 발현된다면 그 결과는 대형사고를 초래할 수 있는 것이다.

항공기 사고의 경우에는, 불가상승으로 인하여 자질있는 조종사들을 다수 고용할 수 없는 것이 사고의 조직적 요인으로 지적될 수 있다. 그러나 그렇다고 하더라도 그것만으로는 사고가 일어나지 않는다. 과도한 비용절감에 따른 부작용으로 지나친 관측전략에 의하여 항공기의 운항편수는 증가하고, 훈련 프로그램은 부실해지고, 피로가 누적되는 승무원들이 다시 운항에 투입되고... 하는 관리적 실패요인으로 발전하는 것이 일반적이다. 이러한 분위기에서 근무해야 하는 승무원들에게 완벽한 운항기술을 기대할 수는 없다. 특히, 승무원들의 숙련성 여부는 위

기 상황에 부딪쳐야 비로소 그 진위를 알 수 있다.

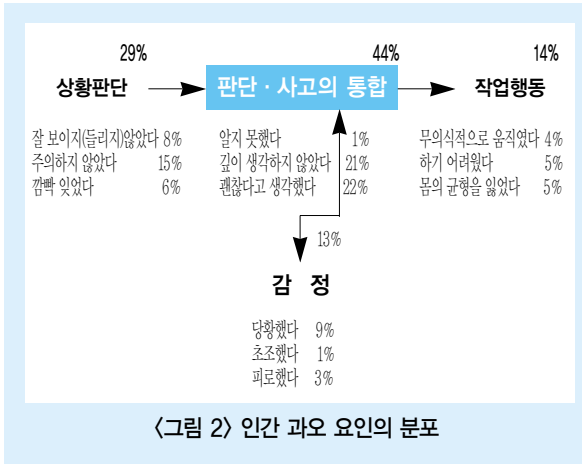
문제는 어떤 경우에 위기상황이 발생하느냐 하는 것인데, 두 가지 경우를 상정하는 것이 일반적이다. 그 첫째는 앞에서 말한 '잠재적 위험요인' 들이 공교롭게도 동시에 발현하는 경우이고, 둘째는 인간이 스스로 위기상황을 헤쳐 나가기 위하여 의사결정을 내리고 행동에 옮긴 (혹은 옮기지 않은) '즉발적 행위' 가 계층적인 다중 방호체계를 동시에 무력화시킴으로써 예상치 못했던 구멍을 만들어 내는 경우이다. 인간 과오는 이 중 두 번째 경우에 해당한다.

4. 인간의 행동과 과오

[그림 1]에서 보듯 사고와 직결되는 모든 인간적인 요인을 '인간 과오' 라고 하지는 않는다. 물론 Dan Petersen은 인간 과오는 모든 사고의 이면에 존재하는 근본원인이라고 하였지만, 전문적인 용어로 이야기할 때 인간 과오와 불안전행동과는 엄연히 차이가 있다. 이 점에 주의하지 않으면 안된다.

인간의 행동을 결정하는 것은 그 사람의 판단이다. 따라서 인간의 모든 행동은 정보처리의 연속이라고 볼 수 있는데, 그 기능은 크게 나누어 정보를 인식하는 감지, 정보나 경험을 보관하는 기억, 개개인의 지식과 판단에 비추어 행동을 결정하는 의사결정, 그리고 마지막으로 결정한 바를 실행에 옮기는 행동의 4단계로 나누어질 수 있다.

[그림 2]는 이와 같은 정보처리과정을 염두에 두고 산업현장의 인간 과오 요인을 분류한 것인데, 이를 보면 어느 단계에서 사람이 과오를 많이 저지르는지, 그래서 어떤 대책들이 필요한지 알 수 있다.



결론부터 말하자면, 의사결정을 하는 과정에서의 판단·사고의 통합이 가장 문제시되고 있으며, 상황을 판단하는데 필요한 정보들이 제대로 제시되었는지가 그 다음으로 중요하다.

5. 대형 플랜트와 인간 과오

이제 눈길을 돌려 우리의 상황을 살펴보자. 화학 플랜트를 중심으로 하는 장치산업의 특징은 작업자가 직접 육안으로 작업의 진행을 확인하는 경우가 거의 없다는 것이다. 다시 말해 대부분 센서와 감지기, 그리고 각종 계지와 모니터로 구성된 표시장치 등을 통하여 간접적으로 작업의 진행을 확인하는데 큰 특징이 있다. 이런 작업의 경우 인간 과오의 가능성이 더욱 높아진다. 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 상황인식의 상실이다. 작업자가 직접 눈으로 작업 대상물을 확인할 수 없기 때문에 현장감이 줄어들고 상상에 의존한 심리적 이미지에 의하여 상황을 파악해야 하므로 과오의 가능성이 높아진다.

둘째, 시스템의 전체적인 기능을 이해하는데 소홀해지기 쉽다. 시스템이 대규모화되고 복잡해질수록 작업자 한 사람이 담당하는 범위는 상대적으로 부분화, 소규모화되어 간다. 따라서 시스템 전체의 기능을 염두에 두고 반응하지 못하면 사고의 위험성은 높아진다.

셋째, 인간-기계 인터페이스의 부적절로 인한 과오의 가능성이 높아진다. 복잡한 시스템일수록 인간에게 요구되는 기능은 더욱 정교하다. 그러므로 위기상황에서의 인간의 대응방식, 기능적·심리적 특성을 예상하여 시스템을 설계하지 않으면 사소한 인간의 실수가 자칫 대형사고로 이어지기 쉽다.

넷째, 오신호(false alarm)에 의한 과오가 증가한다. 어떤 시스템이든 오신호는 있다. 그 빈도가 높을 경우, 인간은 신호의 진위를 파악하는데 소중한 시간을 허비하거나, 반응을 지연시키거나 아예 반응을 하지 않음으로써 사고의 가능성을 높인다.

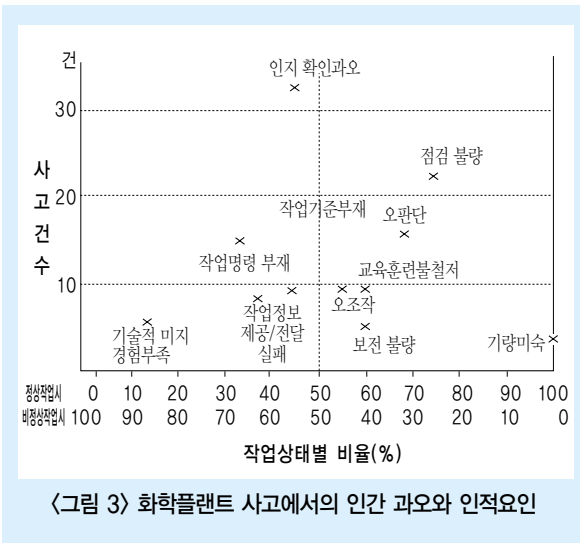
다섯째, 단조로움, 지루함으로 인하여 위험에 대한 경계심이 저하되기 쉽고 결과적으로 과오의 가능성이 높아진다. 경계수준을 높이 유지하는 일은 인간에게 있어 매우 어렵다. 이것은 정신적인 스트레스 수준이 높기 때문에 장시간 감시 작업에서의 인간 과오 가능성은 더욱 높다. 인간공학에서는 이러한 작업을 vigilance task라고 하여 매우 중요하게 다루고 있다.

여섯째, 자동 모드에 대한 과신으로 인하여 과오의 가능성이 증가한다. 인간이 즉시 상황을 판단하고 조치를 취하여야 하는 순간에 “자동화 시스템이니까 기계가 알아서 저절로 다 하겠거니...” 하는 막연한 생각은 시스템에 대한 적절한 반응을 훼손시켜

사고의 가능성을 높인다.

끝으로, 패닉 상태시 자동모드 해제 위험성이 극히 높다. 인간은 결정적인 위기 상황에서 기계를 신뢰하지 않고 자신의 눈이나 판단에 의존하는 특성이 있다. 이것은 웬만큼 교육시켜서는 좀처럼 없어지지 않는 인간다운 고질병(?)의 하나이다. 더욱이 이것은 극도의 위기상황에서만 발생하기 때문에 평소에는 어느 정도 준비되었는지 가늠하기 곤란하다. 앞에서 설명한 바와 같이, 항공기 사고를 예방하기 위한 다중체계를 순식간에 무력화시키는 ‘즉발적 인간 과오’가 가장 무서운 것은 이 때문이며, 대형사고를 유발하는 무서운 존재로서 인간 과오가 자주 입에 오르내리는 것도 이 때문이다.

[그림 3]은 일본의 화학플랜트에서의 연구결과이기도 하지만, 이상과 같은 여러 가지 이유 때문에 화학플랜트에서의 인간 과오는 사고요인으로서 매우 중요한 비중을 차지하고 있음을 보여주고 있다.



〈그림 3〉 화학플랜트 사고에서의 인간 과오와 인적요인

특히, 정상작업에 비하여 비정상작업의 시간비율이 절대적으로 낮음에도 불구하고 사고발생 건수가 크게 다르지 않음을 보면, 비정상작업, 즉 트러블이나 위기상황에서 발생할 수 있는 아주 작은 인간의 행동요인이 얼마나 중대한 결과를 초래하는지 알 수 있다.

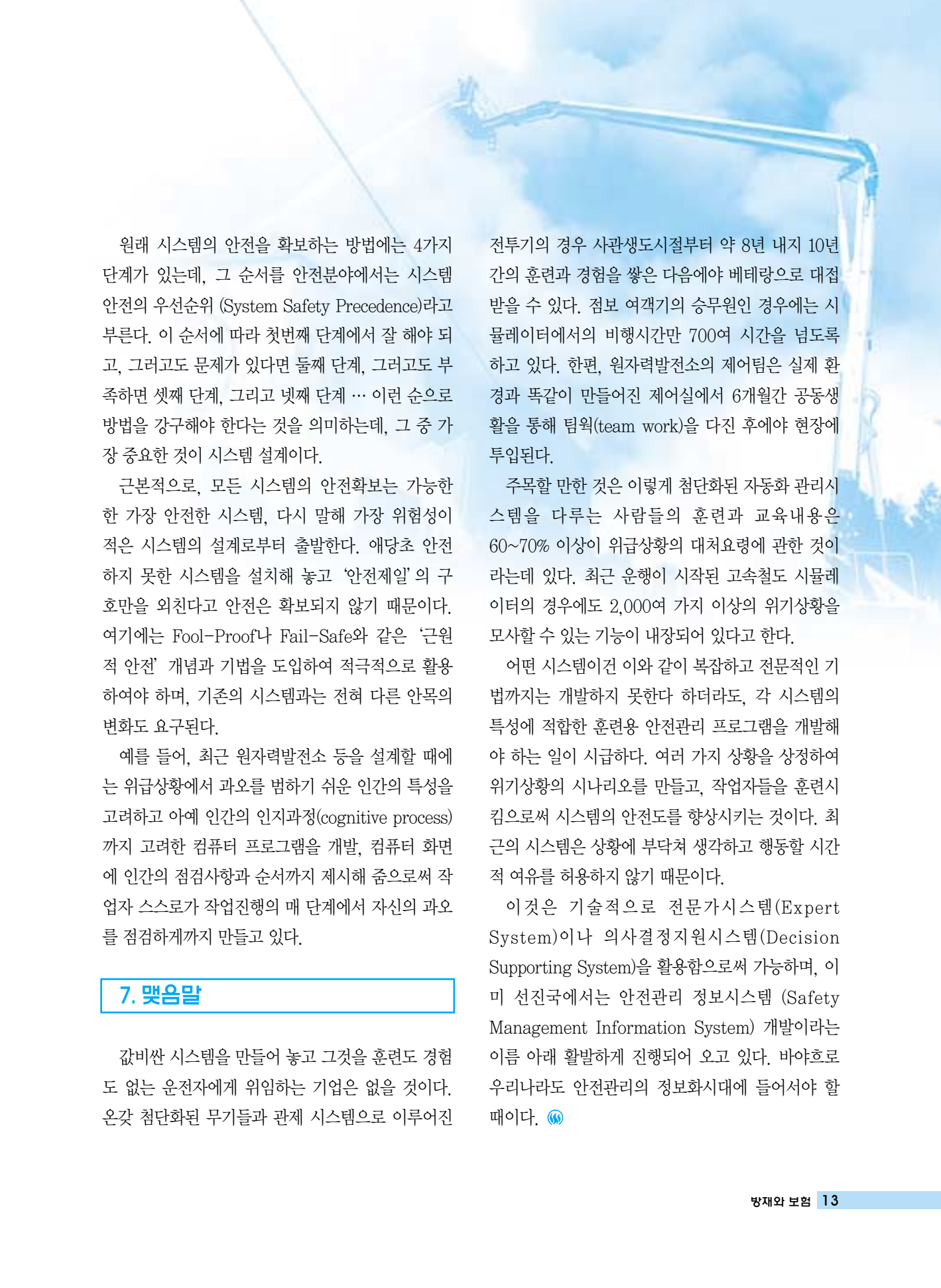
6. 대형사고 예방을 위한 인간공학의 응용

대형 플랜트의 사고와 인간 과오를 예방하기 위해서 무엇을 어떻게 해야 할 것인가?

작업자 본인이 주의집중해서 작업을 한다면 인간 과오를 예방할 수 있다? 그건 이미 불가능하다고 심리적·인간공학적으로 이미 오래 전에 입증된 바 있다.

그렇다면 자동화? 그것도 답은 아니다. 단조롭고 지루한 작업, 또는 큰 힘이 반복적으로 요구되거나 위험한 작업을 기계에게 전가시키기 위한 수단이 자동화이지, 복잡하고 순간순간 예상치 못하게 변화하는 상황에 대한 조치는 결국 인간의 몫이다.

이상에서 살펴 본 것을 종합하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. 즉 자동화 관리시스템에 대한 안전관리상의 포인트는 정상작업이나 정상가동시 아닌 비정상작업이나 위기상황을 중심으로 이루어지되, 기계의 상황변화 못지않게 시스템의 설계에서부터 가동에 이르기까지, 더 나아가 폐기단계에 이르기까지 인간 행동에 대한 주시와 배려가 지속적으로 이루어져야 한다. 그 까닭은 특히 위급한 상황에서 인간 과오가 발생하기 쉬우며, 인간의 사소한 실수가 시스템 전체에 예기치 못한 결과를 초래할 수 있기 때문이다.



원래 시스템의 안전을 확보하는 방법에는 4가지 단계가 있는데, 그 순서를 안전분야에서는 시스템 안전의 우선순위 (System Safety Precedence)라고 부른다. 이 순서에 따라 첫번째 단계에서 잘 해야 되고, 그러고도 문제가 있다면 둘째 단계, 그러고도 부족하면 셋째 단계, 그리고 넷째 단계 ... 이런 순으로 방법을 강구해야 한다는 것을 의미하는데, 그 중 가장 중요한 것이 시스템 설계이다.

근본적으로, 모든 시스템의 안전확보는 가능한 가장 안전한 시스템, 다시 말해 가장 위험성이 적은 시스템의 설계로부터 출발한다. 애당초 안전하지 못한 시스템을 설치해 놓고 ‘안전제일’의 구호만을 외친다고 안전은 확보되지 않기 때문이다. 여기에는 Fool-Proof나 Fail-Safe와 같은 ‘근원적 안전’ 개념과 기법을 도입하여 적극적으로 활용하여야 하며, 기존의 시스템과는 전혀 다른 안목의 변화도 요구된다.

예를 들어, 최근 원자력발전소 등을 설계할 때에는 위급상황에서 과오를 범하기 쉬운 인간의 특성을 고려하고 아예 인간의 인지과정(cognitive process)까지 고려한 컴퓨터 프로그램을 개발, 컴퓨터 화면에 인간의 점검사항과 순서까지 제시해 줌으로써 작업자 스스로가 작업진행의 매 단계에서 자신의 과오를 점검하게까지 만들고 있다.

7. 맺음말

값비싼 시스템을 만들어 놓고 그것을 훈련도 경험도 없는 운전자에게 위임하는 기업은 없을 것이다. 온갖 첨단화된 무기들과 관계 시스템으로 이루어진

전투기의 경우 사관생도시절부터 약 8년 내지 10년간의 훈련과 경험을 쌓은 다음에야 베테랑으로 대접 받을 수 있다. 점보 여객기의 승무원인 경우에는 시뮬레이터에서의 비행시간만 700여 시간을 넘도록 하고 있다. 한편, 원자력발전소의 제어팀은 실제 환경과 똑같이 만들어진 제어실에서 6개월간 공동생활을 통해 팀워크(team work)을 다진 후에야 현장에 투입된다.

주목할 만한 것은 이렇게 첨단화된 자동화 관리시스템을 다루는 사람들의 훈련과 교육내용은 60~70% 이상이 위급상황의 대처요령에 관한 것이라는 데 있다. 최근 운행이 시작된 고속철도 시뮬레이터의 경우에도 2,000여 가지 이상의 위기상황을 모사할 수 있는 기능이 내장되어 있다고 한다.

어떤 시스템이건 이와 같이 복잡하고 전문적인 기법까지는 개발하지 못한다 하더라도, 각 시스템의 특성에 적합한 훈련용 안전관리 프로그램을 개발해야 하는 일이 시급하다. 여러 가지 상황을 상정하여 위기상황의 시나리오를 만들고, 작업자들을 훈련시킴으로써 시스템의 안전도를 향상시키는 것이다. 최근의 시스템은 상황에 부닥쳐 생각하고 행동할 시간적 여유를 허용하지 않기 때문이다.

이것은 기술적으로 전문가시스템(Expert System)이나 의사결정지원시스템(Decision Supporting System)을 활용함으로써 가능하며, 이미 선진국에서는 안전관리 정보시스템 (Safety Management Information System) 개발이라는 이름 아래 활발하게 진행되어 오고 있다. 바야흐로 우리나라도 안전관리의 정보화시대에 들어서야 할 때이다. ☺